

# 서로 다른 두께 비를 가진 Eppler 387익형에서의 공력특성에 관한 연구

최원규<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 항공우주정보시스템공학과

*This study shows what difference would be made to the aerodynamic characteristic with different thickness ratio of the same airfoil, Eppler 387, at low Reynolds number, at the angle of attack of 0°. Konkuk Univ.'s airfoil has a bigger thickness ratio than that of the original Eppler 387 airfoil. The reason for the thicker camber is a Pt 100 ohm heater mounted inside the Konkuk Univ.'s airfoil and this was assumed to make some differences to aerodynamic characteristic. The comparison of these two airfoils' CFD data, provided by EDSION\_CFD, with real experiment that had been made in subsonic wind tunnel at Konkuk Univ. is done. A finer result would come out if the complement of the homogeneity of the wind tunnel's fluid is done in the future.*

Key Words : CFD(전산유체역학), Eppler 387(Eppler 387 익형), angle of attack(받음각), aerodynamic characteristic(공력 특성), Subsonic wind tunnel(아음속 풍동), camber(캠버)

## 1. 서 론

저 레이놀즈수(보통 10,000에서 500,000<sup>(1)</sup>)에서 익형의 공력특성에 관한 연구는 항공기의 성능을 군용기와 민항기 모두에 높일 수 있고, 이는 매우 중요하다. 본 연구에서 사용되는 모델은 Eppler 387이다. 건국대학교가 가지고 있는 익형은 원래 익형과는 조금 다른 형상을 띄고 있다. 이 모델은 예전 IR 실험 때문에 익형 모델 밑면에 히터가 장착되어있다. 이로 인해 익형 모델의 밑면이 실제 Eppler 387익형(Fig. 1)과 달리 Fig. 2와 같이 형상이 실제 모델보다 두껍다. 이를 EDSION\_CFD에서 제공되는 솔버를 이용하여 건국대학교의 Eppler 387 익형과 원래 Eppler 387 익형을 해석하고 비교해보고 실제 실험을 하여 얻은 공력 특성 결과 값과의 비교를 해본다.

### 1.1 실험 모델

본 연구에서 사용한 실험 모델은 Eppler 387이다. 본 익형을 선정 한 이유는 첫째, 저 레이놀즈수, 저 받음각에서 층류, 천이, 난류 영역을 모두 관측할 수 있기 때문이다.<sup>(2)</sup> 둘째, 본 연구과 동일한 실험 모

델, 기법으로 선행 연구한 NASA Langely wind tunnel에서 실험한 자료와 비교할 수 있기 때문이다.

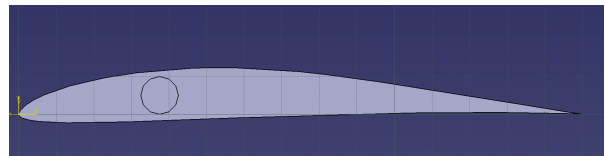


Fig. 1. Original Eppler 387 model

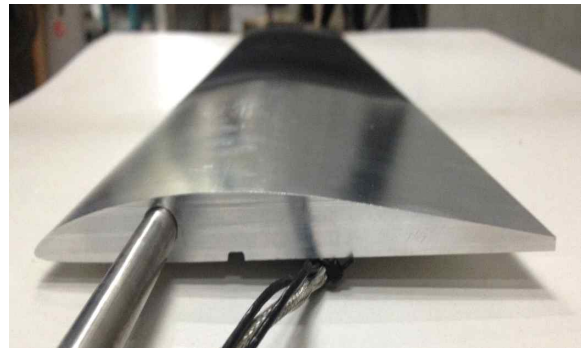


Fig. 2. Konkuk university's Eppler 387 model

## 2. 실험 장비 및 기법

### 2.1 건국대학교 아음속 풍동

건국대학교 아음속 풍동은 단일 폐쇄회로식 아음속 풍동으로 제1 시험부와 제 2시험부로 나뉘어 있고, 본 연구에서 사용한 시험부는 제 1시험부로, 크기가  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 3.5\text{m}$ 이며, 그 최대 속도는  $45\text{m/s}$  이다. 제 1시험부는 Fig. 3과 같다.

Table 1은 건국대학교 다목적 아음속 풍동의 제원을 나타내고 있다.

구 분	제 원
풍동 형식	단일 폐쇄회로식
전체 크기	$8.2(\text{W}) \times 3.2(\text{H}) \times 21.8\text{m}(\text{L})$
시험부의 크기	제1시험부 : $1.0(\text{W}) \times 1.0(\text{H}) \times 3.5(\text{L})$
	제2시험부 : $2.2\text{m}(\text{W}) \times 2.0\text{m}(\text{H}) \times 9.0\text{m}(\text{L})$
시험부의 최대 풍속	제1시험부 : $45.1 \text{ m/sec}$
	제2시험부 : $9.8 \text{ m/sec}$
송풍기 동력	90 Kw

Table 1. Subsonic Wind Tunnel specification



Fig. 3. Subsonic Wind Tunnel

### 2.2 전산 유체 해석

본 논문은 EDSION\_CFD에서 제공하는 전후처리를 이용하여 전산 유체 해석을 수행하였다. Eppler 387 형상의 격자와 건국대학교 형상의 Eppler 387의 격자는 eMEGA를 사용하여 만들었다.

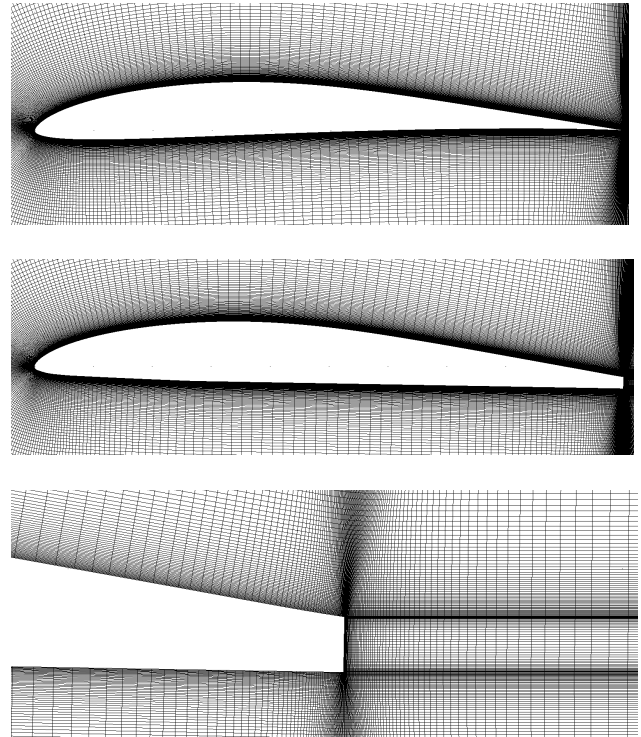


Fig. 4. Original Eppler 387 mesh(top), Konkuk university's Eppler 387 mesh(middle), Konkuk university's Eppler 387 mesh's trailing edge part(bottom)

격자를 EDSION\_CFD에서 제공하는 솔버 중 Prewflow 를 이용하여 eMEGA를 활용하여 생성한 격자파일을 KFLOW로 실행할 수 있는 파일로 변환 시켜준다. 이 변환된 파일을 KFLOW로 해석한다. 본 논문에서 KFLOW로 해석 수행시 사용한 난류 모델은  $K-\omega$  SST Tubulent model에 MinMod Limiter를 적용한것과  $\gamma-Re_\theta$  Transition model에 MUSCL  $3^{rd}$  order를 적용한 것을 서로 비교해 보았다. 실험 조건은  $Re=100,000$ 에  $10\text{m/s}$ 이다. 받음각은  $0^\circ$ 로 해석하였다.

### 2.3 풍동 실험

Pressure scanner를 이용하여  $C_p$ 을 얻는 방법은 Eppler 387 위와 아래로 흐르는 유동을 익형 표면과 연결되어 있는 관을 통해 pressure scanner로 흘려보내어 Netscanner Unified Startup Software(NUSS)를 이용하여 측정된 표면의 압력으로 윗면과 아랫면의

$C_p$ 를 각각 구한다. 이렇게 구해진  $C_p$ 값과 NASA Langley Wind Tunnel에서 진행한 실험값<sup>(3)</sup>과 건국대학교 형상을 CFD를 이용하여 구한  $C_p$ 값과 비교해보았다.

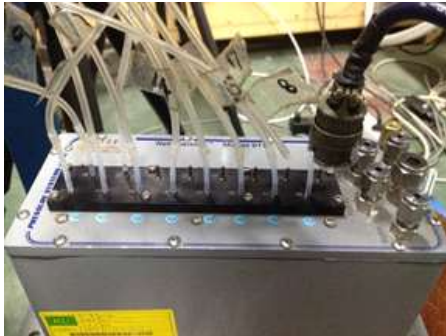


Fig. 5. Pressure Scanner

### 3. CFD 해석 및 풍동 실험 결과

#### 3.1 CFD 해석

CFD로 실제 Eppler 387과 건국대학교가 가지고 있는 익형의 모델을  $0^\circ$ 에서 해석하고 비교한  $C_p$ 값이 Fig. 6에서 Fig. 8까지에 서로 다른 난류 모델을 사용하여 비교한 그래프가 나타나있다. 그래프를 보면 전체적으로  $C_p$ 값이 차이가 난다는 것을 볼 수 있다. 윗면은 거의 형상이 같음에도 불구하고, 서로 차이가 난다는 것을 볼 수 있다. 히터를 익형에 제작하여 넣으면서 camber가 두꺼워지게 되고, 익형 제작 시 trailing edge 부분을 뾰족하게 만들지 못하여 평평하게 제작된 것 등, 이러한 문제점들이 Fig. 6와 같은 결과 값의 차이를 만들었다고 생각된다.

Fig. 6과 Fig. 7을 보면 그래프의 경향이 다른 것을 볼 수 있다. 이는 난류모델의 종류가 달라서인데,  $\gamma - Re_\theta$  Transition model은 익형 위에서의 천이점을 예측할 수 있고,  $K - \omega$  SST Tubulent model은 천이점을 예측하지 못하여 Fig. 6에서 대략  $x=0.45$ 에서  $x=0.8$ 까지 생긴 laminar separation bubble이 나타나지 않았음을 Fig. 7과 Fig. 8에서 볼 수 있다.

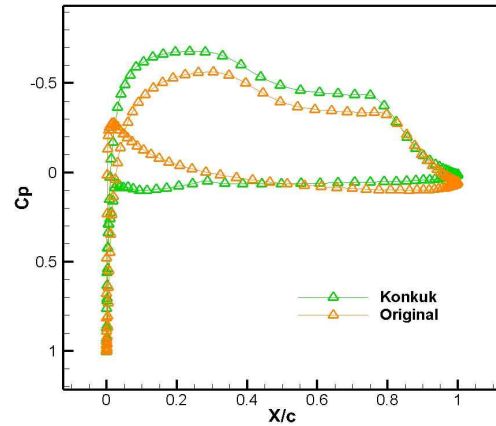


Fig. 6.  $\gamma - Re_\theta$  Transition model comparison

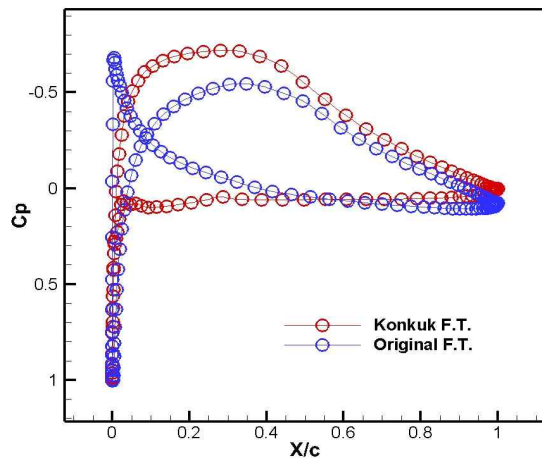


Fig. 7.  $K - \omega$  SST Tubulent model comparison

#### 3.2 풍동 실험 값

Pressure scanner를 이용하여 얻은  $C_p$ 값과 NASA에서 실험하여 얻은  $C_p$ 값과 비교를 한 그래프가 Fig. 9에 나타나있다. NASA에서 실험한 모델은 실 Eppler 387과 거의 동일한 형상을 띄고 있다. 이 때문에, 밑면을 보면 건국대 익형과는 경향이 다르다는 것을 볼 수 있다. 이것은 실제 형상과 달리 건국대 형상의 Eppler 387은 밑면에 곡률이 거의 없는 평평한 면 때문이다. 이로 인해 거의  $C_p$ 의 차이가 없이 일정하다.

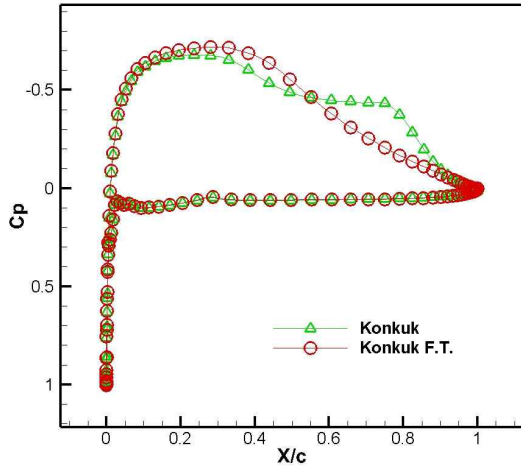


Fig. 8. comparison of  $\gamma - Re_{\theta}$  Transition model and  $K - \omega$  SST Tubulent model

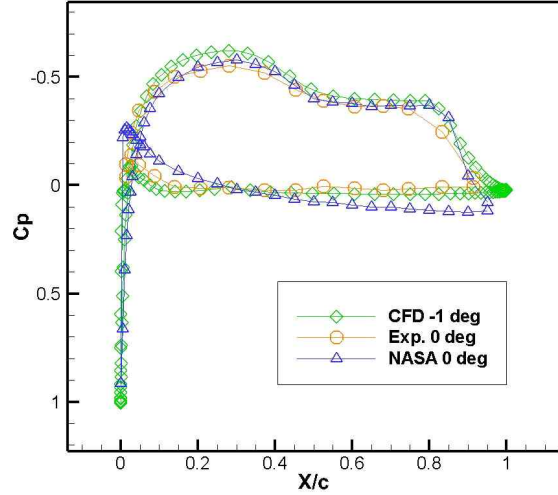


Fig. 11. comparison of CFD(-1°), NASA and Exp

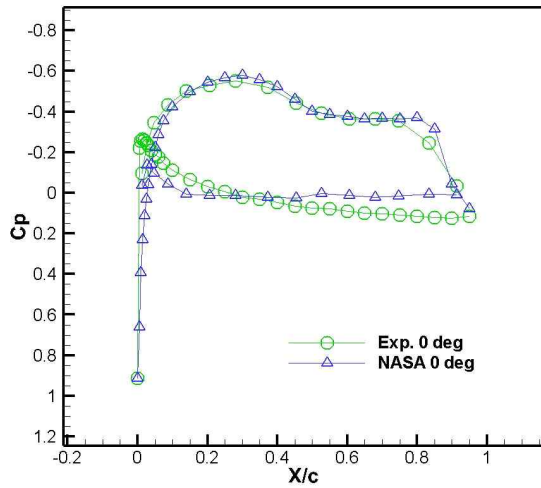


Fig. 9. comparison of NASA and Konkuk Exp.  
NASA에서 실험해서 얻은  $C_p$ 와 건국대 풍동실험을 통해 얻은  $C_p$ 와 CFD 값을 비교해본 결과 실험  $C_p$  값이 CFD  $C_p$  값보다 전체적으로  $C_p$ 가 높은 것을 Fig. 10에서 볼 수 있다.

건국대학교 Eppler 387모델을 CFD 해석 시 받음각을  $0^\circ$ 가 아닌  $-1^\circ$ 로 수정해서 해석한 결과, Fig. 11에서 나타나듯이 CFD  $C_p$  값이 낮아지고 풍동실험값과 비슷한 값을 가지게 된 것을 알 수 있다.

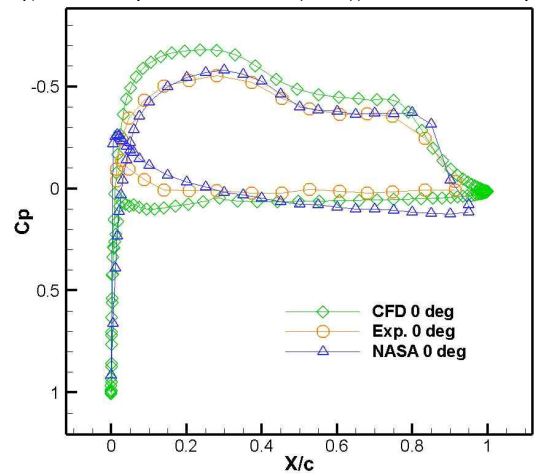


Fig. 10. comparison of CFD( $0^\circ$ ), NASA and Exp

앞서 보인  $C_p$  그래프를 가시화를 시켜보면 유동의 separation이  $K - \omega$  SST Tubulent model로 해석한 flow 데이터에선 보이지 않는다는 것을 볼 수 있다.

Fig. 13에서는 Fig. 12에서 보이지 않는 laminar separation bubble을 볼 수 있다. 이는 실제 Eppler 387의 형으로 해석하여 얻은 flow 데이터를 사용하여 가시화하여도 똑같은 경향을 띤다.

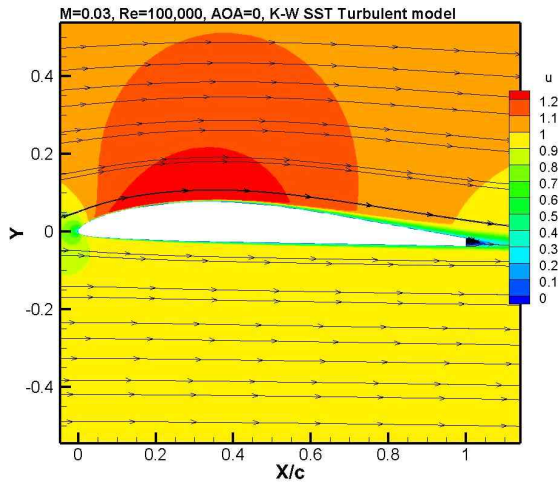


Fig. 12.  $K-\omega$  SST Turbulent model's Flow data

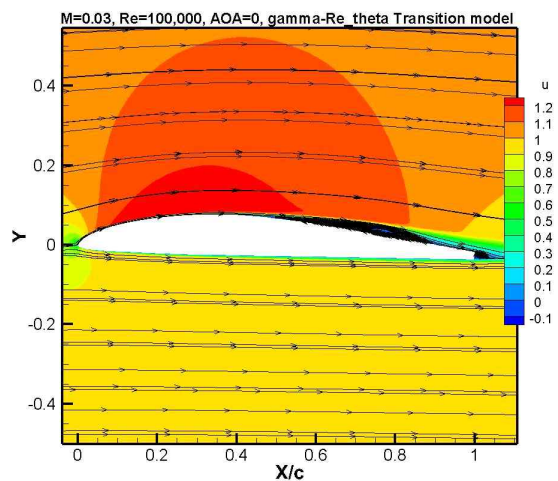


Fig. 13.  $\gamma-Re_\theta$  Transition model's Flow data

#### 4. 결론

본 연구에서 건국대학교가 가지고 있는 Eppler 387 모델을 소개하고 실제 익형 모델과 비교하고 EDISON\_CFD에서 제공하는 솔버를 이용하여 분석을 해보았다. CFD분석을 통해 건국대학교 실험값과는 난류모델  $\gamma-Re_\theta$  Transition model로 해석하는 것이 비교적 비슷한 경향을 띄는 것이 확인되었다. 건국대

학교 모델로 실험을 수행할 경우,  $C_p$ 가 전체적으로 실제 Eppler 387모델의 실험값보다 높게 나온다는 것을 알 수 있었다. 이는 양력 계수도 건국대학교의 Eppler 387모델에서 더 크게 나올 것이라는 예측을 할 수 있다. Fig. 10에서  $C_p$  그래프를 보면 건국대 Eppler 387모델의  $C_p$ 가 높게 나온 것을 알 수 있다. 이는 기계가 아닌 사람의 눈으로 측정을 하다 보니 정확히  $0^\circ$ 가 맞춰지지 않고 human error가 발생했을 가능성이 크다. 풍동 유동의 균질성에 의해 오차가 발생되었을 가능성도 유추해볼 수 있다. 또 다른 하나의 오차 원인으로 벽면효과를 얘기 할 수 있다. 저속 유동에 저 레이놀즈수에서 실험을 하다 보니 벽면효과의 영향을 받았을 가능성도 있다고 주장하는 바이다. 추후 실험 시, 벽면효과와 앞서 말한 풍동 유동의 균질성을 보정하면 더 정교한 결과 값을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2011-0020557)

#### References

- [1] 2008, Hui Hu, Zifeng Yang, "An Experimental Study of the Laminar Flow Separation on a Low-Reynolds-Number Airfoil", Journal of Fluids Engineering, MAY 2008, Vol. 130.
- [2] 2016, H. Lee, J.H. Sa, Y.H. Byun, S.H. Park, K.S. Park, J.G. Lee, IRT System for characteristics of subsonic flow around airfoil, J. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences.
- [3] 1988, Robert J. McGhee, Betty S. Walker, Betty F. Millard, Experimental Results for the Eppler 387 Airfoil at Low Reynolds Numbers in the Langley

Low-Turbulence Pressure Tunnel, NASA Technical  
Memorandum 4062.